NATIONALE

NATUURKUNDE OLYMPIADE

Eindronde – practicumtoets A

5 juni 2010

beschikbare tijd: 2 uur (per toets A of B)

Bepaling van de grootte van het gat tussen de geleidingsband en de valentieband in een halfgeleider

Inleiding

De elektrische weerstand van de meeste materialen is afhankelijk van de temperatuur. Bij metalen wordt de weerstand groter als de temperatuur stijgt. Bij NTC-weerstanden, gemaakt van halfgeleidermateriaal gebeurt het omgekeerde. Zo'n NTC gaan we onderzoeken.

De elektrische geleidbaarheid σ ($\sigma = 1/R$) van halfgeleiders neemt sterk toe als de temperatuur stijgt, volgens de relatie.

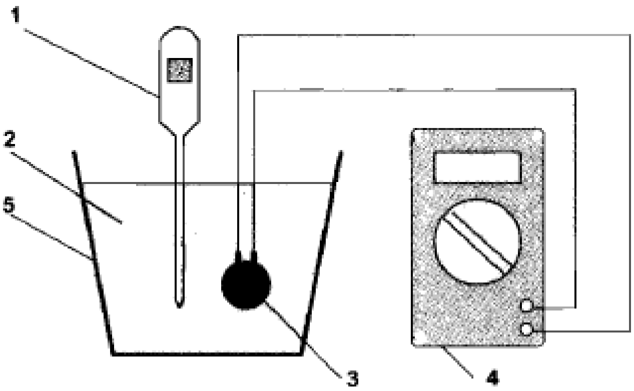
$$\sigma = \sigma_0 e^{\left(-\frac{\Delta W}{2kT}\right)} \qquad [1]$$

Met daarin ΔW de grootte van het gat tussen geleidingsband en de valentieband in de halfgeleider, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ J/K de constante van Boltzmann en T de absolute temperatuur. σ_0 zegt iets over de grootte van de geleiding (theoretisch bij een hoge temperatuur) en daarmee iets over hoe de NTC gemaakt is.

Benodigdheden:

1. Thermometer
2. Water
3. NTC
4. Digitale multimeter
5. Bekerglas 500 mL

- snoertjes
- kleine elastiekjes
- verwarmingsplaat
- Grafiekpapier



Opdrachten:

Vooraf: noteer wat je doet en verantwoord de keuzes die je maakt.

1. Controleer of inderdaad de geleidbaarheid als functie van de temperatuur zich gedraagt zoals deze in relatie [1] wordt gegeven.
2. Bepaal zo nauwkeurig mogelijk de grootte van het gat tussen geleidingsband en de valentieband ΔW en de waarde van σ_0.

Info over de **multimeter**: Met de knop **<F1>** (= Store) leg je de waarde die op het moment van indrukken wordt gegeven vast. Je kunt deze dan daarna rustig aflezen.

Let op: de verwarmingsplaat kan **heet** zijn en reageert met warmteafgifte traag op aan en uit doen.

Eindronde
Natuurkunde Olympiade
2010

practicum toets

VOORAF

► *Enkele opmerkingen*

1. Deze proef bestaat uit drie opdrachten. De opdrachten hebben resp. 4, 1 en 3 onderdelen.
2. Voor opdracht 1b moet een grafiek gemaakt worden. Het grafiekpapier is meegeleverd.
3. Voor opdracht 2 moet je gebruik maken van een bijlage. Ook deze is meegeleverd.
4. Schrijf bovenaan elk papier je naam.
5. Nummer elke bladzijde.
6. Schrijf op de voorpagina het totale aantal bladen dat je inlevert.
7. Voor foutenbeschouwingen worden geen punten gegeven met uitzondering van opdracht 3b. Er wordt wel van je verwacht dat je steeds het juiste aantal significante cijfers gebruikt.

DE FYSISCHE SLINGER

► *Inleiding*

Een fysische slinger is een voorwerp met een willekeurige vorm dat kan roteren om een vaste as. Voor een fysische slinger met een massa M, die met een kleine amplitude slingert om een horizontale as op een afstand l van het zwaartepunt, geldt voor de trillingstijd T:

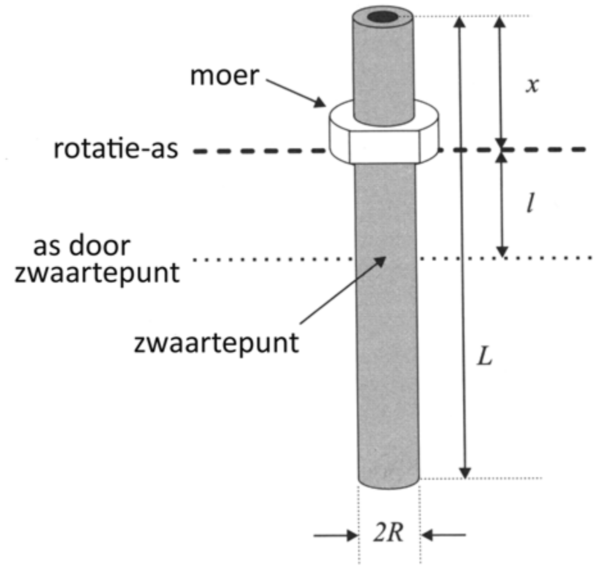
$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{I}{M\,l} + l} \qquad [1]$$

Hierin is g de valversnelling en I is het traagheidsmoment van de slinger ten opzichte van de as door het zwaartepunt van de totale slinger (massamiddelpunt) evenwijdig aan de rotatie-as. Zie voor een afleiding hiervan de appendix.

► *Meetopstelling*

In de figuur hiernaast is een schematische tekening van de fysische slinger die je gaat gebruiken. De slinger bestaat uit een lange metalen staaf en tenminste één moer. De staaf is voorzien van schroefdraad en heeft een totale lengte L en een gemiddelde straal R. De waarden van de verschillende grootheden zijn te vinden in tabel 1. Door de moer te draaien kun je het ophangpunt van de slinger verplaatsen.

In de figuur worden tevens de afstanden x en l gedefinieerd: x is de afstand van de rotatie-as tot het einde van de slinger, l is de afstand van de rotatie-as tot het zwaartepunt van de slinger.



Tabel 1: Afmetingen en massa's

Staaf	de lengte L	(400,0 ± 0,4) mm
	de gemiddelde straal R	(4,4 ± 0,1) mm
	de massa M_{staaf}	(210 ± 1) · 10^{-3} kg
	de spoed (verplaatsing per omwenteling)	(1,500 ± 0,001) mm
Moer	de hoogte h	(7,9 ± 0,1) mm
	de diepte van de groef d	(0,5 ± 0,1) mm
	de massa M_{moer}	(11,6 ± 0,3) · 10^{-3} kg

De opstelling bestaat uit de volgende onderdelen:

A. Een houder waarin de slinger opgehangen kan worden
B. Een messing staaf met schroefdraad
C. Twee moeren met aan één kant twee groeven voor ophanging in het statief
D. Een stopwatch
E. Een liniaal

De **slinger** moet zo in de houder opgehangen worden dat de messen precies in de groeven van de moer vallen. Op die manier staat de draai-as horizontaal. Pas op voor de messen, ze zijn erg scherp!

► *Opdracht 1* De slingertijd als functie van de positie van de rotatie-as.

a. Meet de slingertijd T als functie van de afstand x. Geef de resultaten weer in een tabel. Geef duidelijk aan hoe je aan je metingen komt.

b. Maak een grafiek van T als functie van x. Gebruik de volgende schalen: 1 mm in de grafiek komt overeen met 1 mm van de variabele x en met 1 ms van de variabele T.

c. Hoeveel waarden van x geven respectievelijk een slingertijd T = 950 ms, T = 1000 ms en T = 1100 ms ?

d. Bepaal de waarde van x en l waarvoor T de minimale waarde bereikt. Geef hierbij duidelijk aan wat je hiervoor gedaan hebt. (Hint: een mesje van de houder kan, als je het beschermstripje er even afhaalt, goed fungeren als balanceersteun voor de staaf.)

► *De reversieslinger (1)*

Voor een fysische slinger met een **vast** traagheidsmoment I kan in sommige gevallen **dezelfde** slingertijd T gevonden worden bij twee **verschillende** posities van de rotatie-as. Als in dat geval de afstanden van de rotatie-as tot het zwaartepunt gelijk zijn aan respectievelijk l_1 en l_2, dan geldt de volgende betrekking:

$$l_1 l_2 = \frac{I}{M} \qquad [2]$$

Een afleiding hiervan staat ook in de appendix.

► *Opdracht 2*

De figuur op de bijlage toont een fysische slinger met een rotatie-as loodrecht op het vlak van tekening en op een afstand l_1 van het zwaartepunt. Gebruik de informatie in het bijschrift van de figuur om *alle* posities aan te geven van rotatie-assen die evenwijdig zijn aan de oorspronkelijke rotatie-as en die dezelfde slingertijd opleveren als met de gegeven rotatie-as. Geef op de bijlage ook eventuele metingen en berekeningen aan.

► *De reversieslinger (2)*

De uitkomst [2] invullen in vergelijking [1] levert op:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{l_1 + l_2}$$

Het valt direct op dat dit onafhankelijk is van I/M!

Worden de slingertijd en de twee lengtes opgemeten dan is de valversnelling te bepalen:

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2}\left(l_1 + l_2\right)$$

► *Opdracht 3* Bepaling van g.

a. Bepaal de valversnelling g in Utrecht zo nauwkeurig mogelijk. Geef *duidelijk* aan hoe je te werk bent gegaan en wat voor metingen je doet. (Hint: uit opdracht 1a en 1b kun je, als het goed is, al een globale indruk krijgen voor welke posities van de moer(en) er dezelfde slingertijd is.)

b. Bepaal de nauwkeurigheid in je metingen en geef de waarde van g met zijn foutengebied (fouteninterval).

c. Geef aan op welke manier(en) je de nauwkeurigheid van de bepaling van g met behulp van een reversieslinger groter kan maken.

APPENDIX

► *Afleiding van formule* [1].

Stel dat een fysische slinger met massa M kan roteren om een vaste as door het punt O. De afstand l is de afstand van het punt O naar het zwaartepunt Z. Wanneer de slinger een kleine uitwijking ϕ heeft, wordt het terugdrijvende moment τ gegeven door:

$$\tau = -Mgl\sin\phi$$

De bewegingsvergelijking wordt dan:

$$\tau = -Mgl\sin\phi = I_O\alpha = I_O\frac{d^2\phi}{dt^2}$$

Hierin is I_O het traagheidsmoment van de slinger ten opzichte van het rotatiepunt.
Voor kleine hoeken mag aangenomen wordt dat $\sin\phi = \phi$
Dit levert de vergelijking op:

$$\frac{d^2\phi}{dt^2} + \frac{Mgl}{I_O}\phi = 0$$

Deze heeft als oplossing:

$$\omega = \sqrt{\frac{Mgl}{I_O}}$$

Zodat voor de trillingstijd volgt:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{I_O}{Mgl}}$$

Volgens de regel van Steiner is het traagheidsmoment ten opzichte van punt O ook te schrijven als $I_O = I + Ml^2$. Hierin is I het traagheidsmoment van de slinger ten opzichte van de zwaartepunt. Als dat wordt ingevuld in de vergelijking voor de trillingstijd, dan volgt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I_O}{Mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{I + Ml^2}{Mgl}} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{I}{Ml} + l}$$

► *Afleiding van formule* [2].

Stel dat we dezelfde trillingstijd T vinden voor twee afstanden l_1 en l_2, dan volgt volgens [1]:

$$\frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{I}{Ml_1} + l_1} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}}\sqrt{\frac{I}{Ml_2} + l_2}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{I}{Ml_1} + l_1 = \frac{I}{Ml_2} + l_2$$

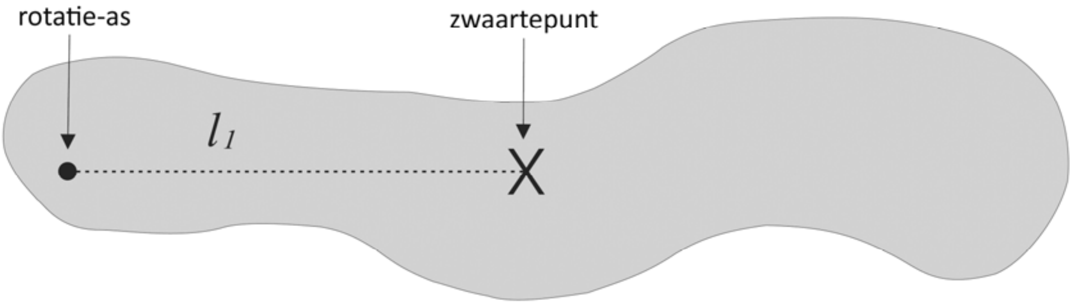
$$\frac{I}{M}\left(\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2}\right) = l_2 - l_1$$

$$\frac{I}{M}\left(\frac{l_2 - l_1}{l_1 l_2}\right) = l_2 - l_1$$

$$\frac{I}{M} = l_1 l_2$$

BIJLAGE

Naam:



Geef alle posities aan van de rotatie-assen (loodrecht op het vlak van de tekening) die evenwijdig zijn aan de oorspronkelijke rotatie-as en die dezelfde slingertijd opleveren als met de gegeven rotatie-as.
Neem voor deze slinger (met schaal van tekening 1:1) aan dat I/M = 2100 mm^2.
Geef hieronder eventuele metingen en berekeningen aan.